

巨石混合体边坡失稳模式研究

刘 蕾, 门玉明, 袁立群

(长安大学 地质工程与测绘学院, 西安 710054)

摘要: 运用离散元数值模拟方法, 对具有大块石堆积特征的巨石混合体边坡的失稳模式进行了研究。结果表明, 巨石混合体边坡中块石表面摩擦系数的降低会导致边坡的运动变形, 变形模式以块石的平移为主, 个别块石发生转动; 块石在变形过程中重新镶嵌、咬合, 具有自稳性; 巨石混合体边坡主要的失稳范围为坡体的前缘和中部, 竖直方向上坡体中上部的变形量较大, 坡体下部变形量较小; 前部块体的变形会导致后部块体失去支撑而发生变形, 属牵引式的失稳模式。

关键词: 巨石混合体; 边坡; 失稳模式; 离散元

中图分类号: P642; TU43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0112-04

Study on Destabilization Mode of Huge Rock Mixture Slope

LIU Lei, MEN Yuming, YUAN Lìqun

(College of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: The destabilization mode of the huge rock mixture slope was investigated using the discrete element numerical method. The results showed that (1) the huge rock mixture slope would deform when the friction coefficient of the rock surface reduces. The destabilization mode is mainly the translation slip of rock blocks with rotation of a few rock blocks; (2) the rock blocks accumulate and occlude during the movement, and shows the ability of self stabilization; (3) the main destabilization range of the huge block mixture slope is the front and the middle parts of the slope. In vertical direction, the upper and middle parts of slope have higher deformation than the lower part; and (4) the movement of front rock block can cause the deformation of back rock block due to losing of support, which is the retrogressive destabilization mode.

Key words: huge rock mixture; slope; destabilization mode; discrete element method

在我国西南山区普遍存在一类由尺寸较大的块石堆积而成的边坡, 块石尺寸一般大于 1 m, 可称其为“巨石混合体边坡”^[1]。巨石混合体边坡一般由早期的滑坡或崩塌等原因形成, 块石之间杂乱堆积, 相互镶嵌、咬合, 一般稳定性较好。随着我国现代化建设步伐的加快, 工程建设中经常遇到与巨石混合体边坡稳定性有关的问题, 如国家天文台“500 m 口径球面射电望远镜”(FAST) 台址开挖支护中就涉及巨石混合体边坡的开挖稳定性判断与支护的问题^[2,4]。殷跃平^[1]首次提出了“巨石土混合体滑坡”的概念, 对丹巴县城滑坡的稳定性进行了有限元计算, 认为常用的滑坡稳定性分析方法应用于巨石土混合体滑坡中存在较大误差, 应注重滑体结构对滑坡稳定性的影响。闫金凯^[2]利用离散元数值模拟的方法对 FAST 台址巨石混合体边坡的开挖稳定性进行了研究。朱彦、唐韬等^[3,4]认为堆石体的稳定系数与安息角有关。张玉军^[5]使用平面离散元法(UDEC) 和有限元法对小湾水电站

左岸坝前堆积体在自然状态下的稳定进行了二维数值计算与分析, 得到该堆积体应力和变形状态的定量结果, 对堆积体的稳定性有了相应的认识。李树武、陈强等^[6,7]认为堆石体的天然休止角可作为其内摩擦角。

巨石混合体边坡独特的组构特征导致了其变形失稳形式可能与一般的土体和岩体边坡有很大的不同。明确其变形失稳模式, 是正确评价其稳定性及科学合理防治的基础和前提。本文通过数值计算, 选取某巨石混合体边坡为研究对象, 对降雨工况下巨石混合体边坡的失稳模式进行研究, 为此类边坡的稳定性评价及防治提供参考。

1 巨石混合体边坡特征

选择的巨石混合体边坡宽约 86 m, 长约 60 m, 面积约 5 100 m², 平均厚度约 9 m, 体积约 45 900 m³。边坡主要由碎、块石组成(图 1), 局部夹薄层黏土, 块石含量 90% 以上,

收稿日期: 2013-05-07 修回日期: 2013-08-07 网络出版时间: 2013-08-22

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130822.1705.010.html>

作者简介: 刘蕾(1983-), 女, 山东青岛人, 博士研究生, 主要从事地质工程及地质灾害等方面的科研工作。E-mail: 46744214@qq.com

块径0.3~5.0 m, 结构松散, 多处架空, 岩芯多呈柱状、短柱状, 少量呈碎块状。基岩为三叠系中统凉水井组三段(T2l3)浅灰色、灰白色、褐黄色薄至中厚层状白云质灰岩。



图1 边坡前缘的巨石混合体

Fig. 1 Huge rock mixture in the front of the slope

2 巨石混合体边坡失稳模式的数值模拟

2.1 计算模型建立

模型构建时以图2所示的剖面为计算剖面, 将基岩视为连续体, 巨石混合体视为离散体。为实现块石堆积的结构特性, 采用随机块体生成方法^[7]进行块石的生成。生成模型时, 先建立基岩模型, 然后随机生成巨石混合体的块体模型。由于生成的块体模型之间存在空隙, 即块体不是紧密接触的, 因此块体生成后先使其在重力作用下进行固结, 待其稳定后按坡体剖面形状将多余的块体去除, 所得的模型即为最后的计算模型, 见图3。计算模型中充分考虑了块石形状、级配以及堆积形态的随机性。

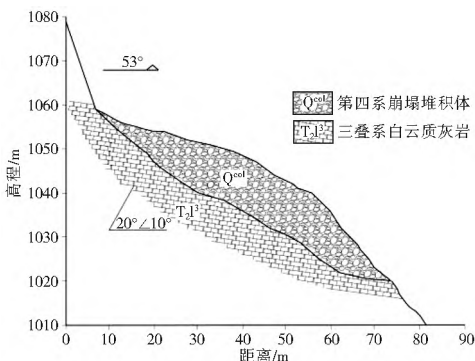


图2 边坡剖面

Fig. 2 Cross section diagram of the slope

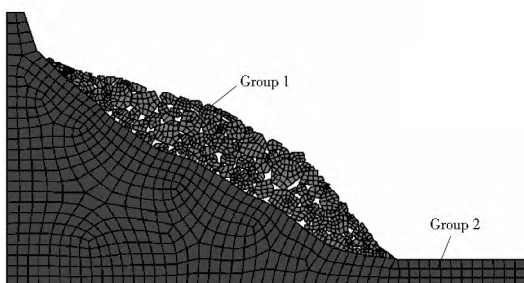


图3 计算模型示意图

Fig. 3 Schematic diagram of calculation model

2.2 计算条件

块石(Group1)与基岩(Group2)均采用莫尔-库仑模型,

其参数见表1。块石与块石之间、块石与基岩面之间均为离散的接触关系, 接触面间的计算参数见表2。

本次计算主要通过块石间摩擦系数的折减进行巨石混合体边坡的失稳模式研究。由于块石间的黏聚力为零, 所以主要是对块石之间的摩擦角进行折减。本次模拟按块石表面摩擦角折减为 30° 、 25° 、 20° 进行计算, 为后续叙述方便, 分别称为模拟一、模拟二、模拟三。

表1 材料物理力学参数

Table 1 The physical and mechanical parameters of the material

物理量	密度 $/(kg \cdot m^{-3})$	弹性模 量/Pa	泊松比	黏聚力 /Pa	内摩 擦角($^\circ$)	抗拉 强度/Pa
块石	2700	3×10^{10}	0.18	1×10^6	50	3×10^6
基岩	2700	3×10^{10}	0.18	1×10^6	50	3×10^6

表2 块体接触面间计算参数

Table 2 The physical and mechanical parameters of rock block contact surface

接触 关系	法向刚度 $/(N \cdot m^{-1})$	剪切刚度 $/(N \cdot m^{-1})$	黏聚力 /Pa	摩擦 角($^\circ$)	抗拉 强度/Pa
块石-块石	2.4×10^{11}	1×10^{11}	0	30/25/20	0
块石-基岩	2.4×10^{11}	1×10^{11}	0	30/25/20	0

为监测坡体各部位的位移情况, 在坡体上设置10个位移监测点, 见图4。

其中, 一部分是坡体表层位移测点, 从后缘至前缘共布设了6个, 记为测点1-测点6; 另外在坡体内部布设了两条测线, 监测坡体竖直方向的位移变化规律, 其中测线一位于坡体中部, 从上到下布置了测点4、9、10三个测点, 测线二位于坡体前缘, 从上到下布置了测点5、7、8三个测点。

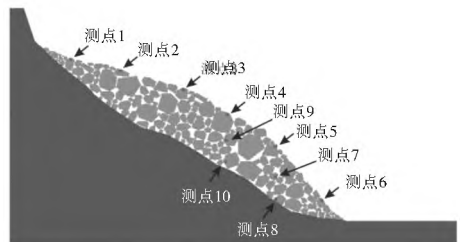


图4 位移测点布置图

Fig. 4 Location of displacement measurements

2.3 计算结果与分析

图5为三种模拟滑体的位移云图及位移矢量图。模拟一中, 发生运动的块体主要位于坡体前缘和中部, 后缘的块体基本没有移动。块体的运动以沿基岩面方向的滑移为主, 个别块体发生转动现象。模拟二、模拟三中, 随着块石间摩擦角的进一步降低, 块石的位移量逐渐增大, 且带动后缘的块石发生运动变形, 整个坡体的位移以沿基岩面的滑移为主, 变形较大的区域仍为坡体前缘和中部。

块石表面摩擦角降低时, 块石之间的摩擦角降低, 导致巨石混合体中块石之间力的平衡状态被打破, 块石发生运动。块石运动变形后, 使得其后部的块石有了变形运动的空间, 会诱发后部块石的运动变形, 属牵引型的失稳模式; 块石在变形过程中重新镶嵌、咬合, 会导致巨石混合体的堆积形

态发生变化,重新趋于稳定。

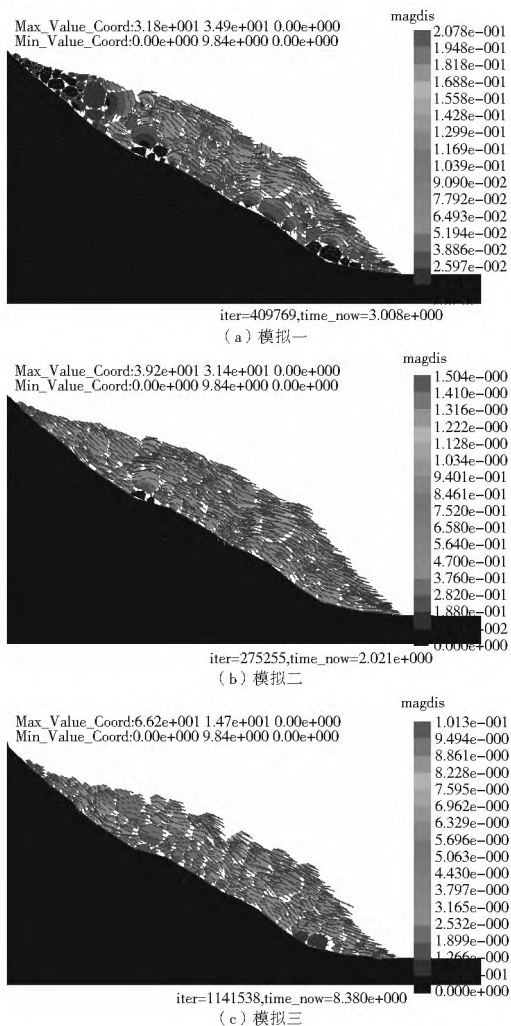
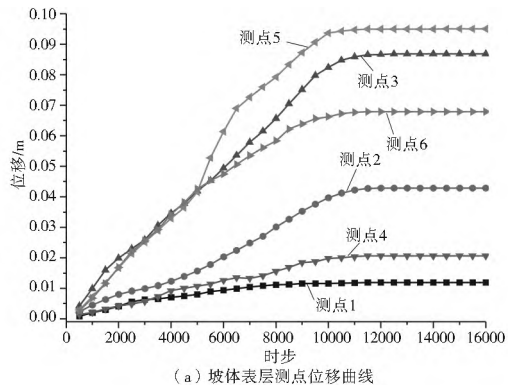


图 5 坡体位移云图及位移矢量

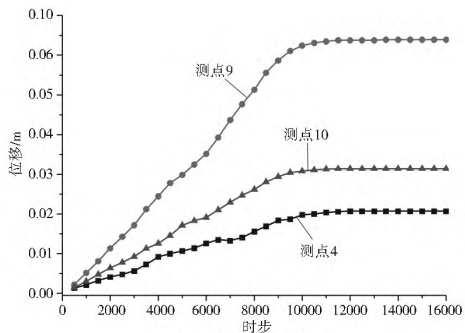
Fig.5 Displacement nephogram and vectogram of the slope

图 6- 图 8 分别为三种模拟的测点位移曲线。从表层测点位移曲线来看,计算开始时各测点同时发生变形,这主要与块石间内摩擦角折减的计算方法有关。折减后坡体内部块石之间的摩擦力减小,整个坡体中力的平衡关系被打破,造成各部位的块石同时发生变形。从变形量上来讲,坡体不同部位的位移量并没有较强的规律性,总体上坡体前缘和中部的表层块石的位移要大于后缘部分的位移。

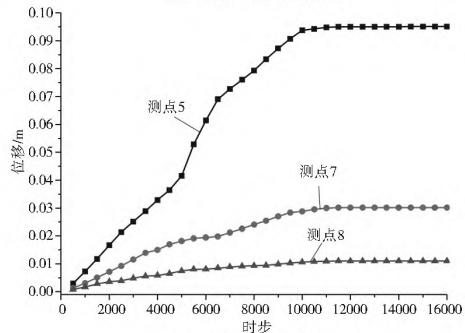
从测线一、测线二所示的坡体内部位移曲线(图 8)来看,坡体没有发生自上至下或自下至上的依次滑动,各测点在开



(a) 坡体表层测点位移曲线



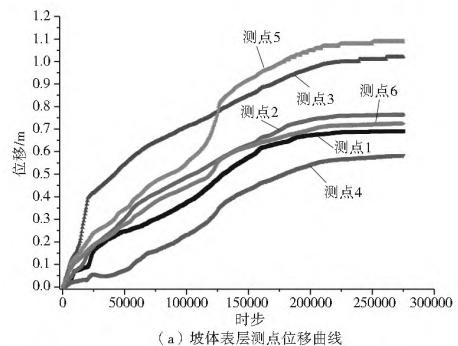
(b) 测线一测点位移曲线



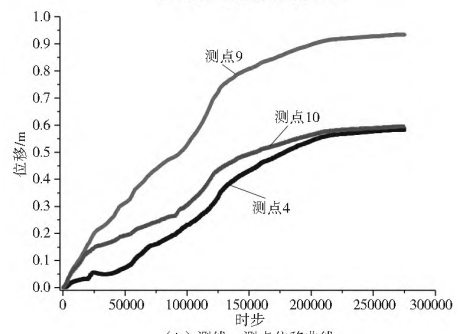
(c) 测线二测点位移曲线

图 6 模拟一测点位移曲线

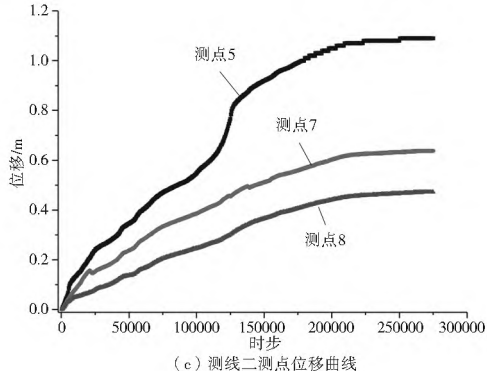
Fig.6 Displacement curves of monitoring points in the first model



(a) 坡体表层测点位移曲线



(b) 测线一测点位移曲线



(c) 测线二测点位移曲线

图 7 模拟二测点位移曲线

Fig.7 Displacement curves of monitoring points in the second model

始计算后同时发生位移,且位移变化规律基本相同。竖直方向上各测点的位移量有所差别,总体上最下部测点(靠近基岩面)位移最小,坡体表层和中间的测点位移量较大。

各测点的位移曲线最终趋于平稳,说明坡体中各部位的块体经历不同程度的位移后,堆积形态发生变化,坡体最后趋于稳定,体现出一定的自稳性。

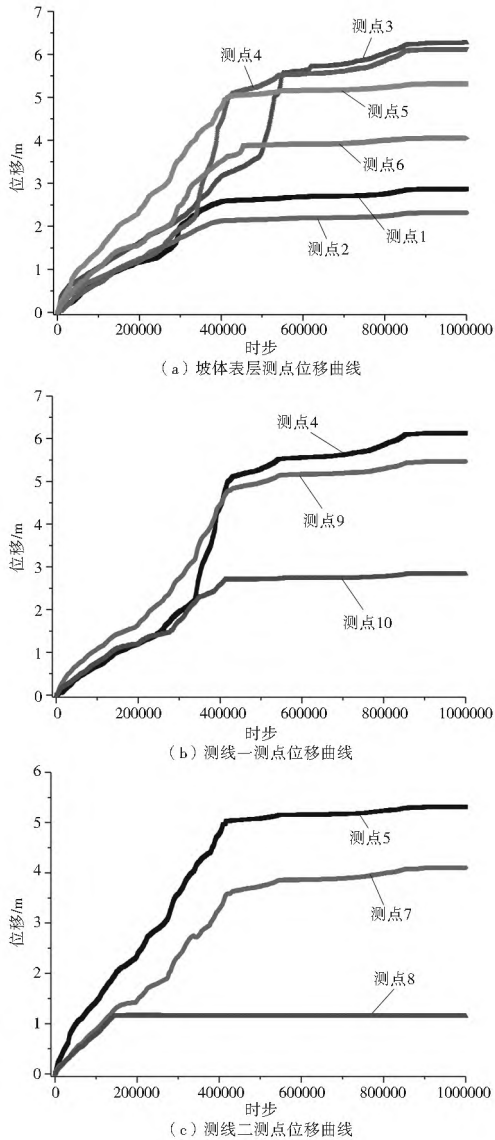


图8 模拟三测点位移曲线

Fig. 8 Displacement curves of monitoring points in the third model

3 结语

巨石混合体块石堆积的组构特征使得其力学性质及变形特性有异于一般的土体和岩体,适用于此类边坡的研究方法及手段目前也在探讨之中。本文采用随机块体生成技术构建了巨石混合体边坡模型,通过离散元数值模拟方法,研究了降雨工况下巨石混合体边坡的失稳模式。结果表明,巨石混合体边坡中块石表面摩擦系数的降低会破坏块石堆积的平衡状态,从而导致边坡的运动变形;块石间摩擦系数降低的越

多,边坡的位移量越大,整个坡体的位移以沿基岩面的滑移为主;边坡主要的变形范围为坡体的前缘和中部,变形模式以块石的平移为主,个别块石发生转动;块石在变形过程中重新镶嵌、咬合,具有一定的自稳性。研究结果可为巨石混合体边坡的稳定性评价及防治方法的提出提供一定的参考。

参考文献(References):

- [1] 殷跃平,李廷强,唐军.四川省丹巴县城滑坡失稳及应急加固研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(5):971-978.(YIN Yueping, LI Tingqiang, TANG Jun. Landslide Reactivation and Emergency Stabilization on Danba County Town in Sichuan Province[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(5): 971-978. (in Chinese))
- [2] 闫金凯,马娟,冯春.FAST台址巨石混合体边坡开挖稳定性分析[J].中国地质灾害与防治学报,2012,23(2):25-29.(YAN Jinkai, MA Juan, FENG Chun. Stability Analysis of Large Rock Mixture Slope under Excavation in FAST Location[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(2): 25-29. (in Chinese))
- [3] 朱彦,唐韬,王馨语.FAST岩土工程模型实验简介[J].工程勘察,2010,s(1):925-931.(ZHU Yan, TANG Tao, WANG Xinyu. Introduction to Model Test of FAST Engineering[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2010, s(1): 925-931. (in Chinese))
- [4] 唐韬,朱彦.FAST台址区岩堆的岩土工程治理对策研究[J].工程勘察,2010,s(1):571-577.(TANG Tao, ZHU Yan. Study on Correction Method to Accumulation of Rock Mass in FAST Location[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2010, s(1): 571-577. (in Chinese))
- [5] 张玉军,朱维申.小湾水电站左岸坝前堆积体在自然状态下稳定性的平面离散元与有限元分析[J].岩石力学与工程学报,1999,18(5):538-541.(ZHANG Yujun, ZHU Weishen. 2-D DEM and FEM Analyses on Stability of Deposit Body in Front of Dam on the Left Bank of Xiaowan Hydropower Station [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1999, 18(5): 538-541. (in Chinese))
- [6] 李树武,聂德新,刘惠军.大型碎屑堆积体工程特性及稳定性评价[J].岩石力学与工程学报,2006,25(s2):4126-4131.(LI Shuwu, NIE Dexin, LIU Huijun. Engineering Property of a Large-scale Clastic Accumulation Body and Its Stability Evaluation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(s2): 4126-4131. (in Chinese))
- [7] 陈强,聂德新,李树武.澜沧江乌弄龙电站坝前崩塌堆积体发育特征及稳定性评价[J].山地学报,2006,24(1):95-100.(CHEN Qiang, NIE Dexin, LI Shuwu. Stability Analysis on a Collapsing Accumulation Body Located in front of the Dam Site of Wunonglong Water power Station in Lancang River[J]. Journal of Mountain Science, 2006, 24(1): 95-100. (in Chinese))
- [8] 周伟,常晓林,周创兵,等.堆石体应力变形细观模拟的随机散粒体不连续变形模型及其应用[J].岩石力学与工程学报,2009,28(3):491-499.(ZHOU Wei, CHANG Xiaolin, ZHOU Chuangbing, et al. Stochastic Granule Discontinuous Deformation Model of Rock fill and Its Application[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(3): 491-499. (in Chinese))